



## อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการยีนไฟ ต่อการเคลือบผลึกวิลลิไมท์แบบดอกซ้อน

### Effect of Soaking Time and Temperature on Halo Willimite Crystal Glaze

นงลักษณ์ มีทอง<sup>1</sup> พินิตา กำลังสง่า<sup>2</sup> พรจรัส ตะเพียนทอง<sup>2</sup> ปาริทัศน์ ไทยทะเล<sup>2</sup>  
สุทธิพงษ์ สืบสวน<sup>2</sup> และ สุธรรม ศรีหล่มลัก<sup>2\*</sup>

#### บทคัดย่อ

เคลือบผลึกเป็นเคลือบเซรามิกที่สวยงาม แต่การเผาเคลือบให้ได้เคลือบผลึกที่เหมือนกันทุกครั้งที่เผาเป็นเรื่องยาก เพราะมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อลักษณะของผลึกที่ได้ งานวิจัยนี้ได้ทดลองปรับเปลี่ยนรูปแบบการเผา ส่วนผสมของเคลือบ และความหนาในการชุบเคลือบ เพื่อศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ต่อลักษณะของเคลือบผลึกที่ได้ ผลการวิจัยพบว่าการยีนไฟช่วงอุณหภูมิเลี้ยงผลึกทำให้ได้ดอกผลึกที่โตและสวยงามยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นการเพิ่มและลดอุณหภูมิกลับไปกลับมาในช่วงอุณหภูมิข้างต้นทำให้ได้ผลึกเป็นดอกซ้อนกัน นอกจากนี้ การเพิ่มจำนวนครั้งที่ชุบเคลือบส่งผลให้ได้เคลือบมีความหนาเพียงพอ ทำให้ได้ดอกผลึกขนาดใหญ่สวยงามยิ่งขึ้นหลังเผา อย่างไรก็ตาม ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่างกันขึ้นกับส่วนผสมของเคลือบด้วย

<sup>1</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

\*Corresponding Author; E-mail: sriloms@hotmail.com

## ABSTRACT

Crystal glaze makes beautiful ceramic surfaces. However, it is difficult to fire crystal glaze so that it has same beautiful look every time. This is because there are many factors which affect its appearance. In order to investigate the effects of these factors, firing profile, glaze composition and thickness of glaze were varied. It was found that larger and more beautiful Willimite crystals could be obtained by providing longer soaking time at the crystal growth temperature. Moreover, by alternately increasing and decreasing temperature during the crystal growth firing period, halo crystal glazes can form. Finally, large crystals that form attractive glazes can be obtained by increasing the number of glaze applications. However, these effects also depend upon the glaze composition.

**คำสำคัญ:** เคลือบผลึก เคลือบเซรามิก วิลลิไมท์ เซรามิก เคลือบ

**Keywords:** Crystal glaze, Ceramic glaze, Willimite, Ceramic, Glaze

## บทนำ

เคลือบผลึกเป็นเคลือบเซรามิกที่มีความสวยงามเพราะมีผลึกต่าง ๆ อยู่ในเคลือบถึงแม้ว่ามีคนนิยมชื่นชอบเคลือบชนิดนี้กันมากแต่ก็มีคนนำเคลือบชนิดนี้ไปเคลือบบนผิวผลิตภัณฑ์กันไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะมีความยุ่งยากในการเผาเคลือบและมีปัจจัยหลายอย่างมากที่มีผลต่อลักษณะของเคลือบผลึกที่ได้จากการเผาแต่ละครั้ง ปัจจัยแต่ละอย่างมีความละเอียดอ่อนมากจนทำให้บางครั้งไม่สามารถที่จะเผาให้ได้ชิ้นงานซึ่งมีเคลือบผลึกที่ซ้ำเหมือนเดิมอีกครั้ง ทั้ง ๆ ที่ได้ควบคุมปัจจัยทุกอย่างให้เหมือนครั้งที่แล้ว นักเซรามิกบางคนจึงมองเทคนิคการเผาเคลือบผลึกว่าเป็นทั้งศิลป์ศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มีบทความวิชาการเกี่ยวกับเคลือบผลึกจำนวนมากที่พิมพ์ออกมาและเผยแพร่เป็นภาษาอังกฤษ เช่น Riddle (1906), Norton (1937) Dakhai et al. (1999) และเป็นภาษาไทย เช่น ไพจิตร (2531), ไพจิตร (2537), ภาวิณี (2546) ปรีดา (2547) คชินท์ (2552) คชินท์ (2553) สุธรรม (2554) สุธรรมและนางลักษณ์ (2556) ศุภกา (2557) ผู้เขียนและคณะ

ได้ทำการทดลองและเขียนบทความเกี่ยวกับเคลือบผลึกเผยแพร่ความรู้ไปแล้วสองฉบับ คือ สุธรรม (2554) สุธรรมและนางลักษณ์ (2556) แต่ก็ยังมีรายละเอียดในศาสตร์ด้านนี้อีกหลายเรื่องที่จะต้องทำการศึกษาและวิจัยต่อไปเพื่อให้ได้ความรู้เกี่ยวกับเคลือบผลึกครบถ้วนจะได้ควบคุมเคลือบผลึกได้

รูปที่ 1 แสดงรูปแบบการเผาเคลือบผลึกแบบพื้นฐาน จากภาพจะเห็นว่าได้ว่ามีอุณหภูมิที่ต้องควบคุมในการเผาอยู่สามค่าคือ T1 T2 และ T3 (°C) ดังนั้นจึงมีช่วงเวลาที่เย็นไฟขณะเผาอยู่สามช่วงคือ t1 t2 และ t3 (นาที่หรือชั่วโมง) และมีอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิการเผาอยู่สี่อัตราคือ r1 r2 r3 และ r4 (°C/นาที่) อุณหภูมิที่ต้องควบคุมในการเผาอุณหภูมิแรก (T1) เป็นอุณหภูมิที่ในทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) ถือว่าสารประกอบในเคลือบมีพลังงานเสรี (free energy) เหมาะสมสำหรับการเกิดผลึก (nucleation) มากที่สุด ดังนั้น ณ อุณหภูมินี้จะต้องอมหลาย ๆ อะตอมที่อยู่ในเคลือบจะรวมตัวเกาะเป็นผลึกเล็ก ๆ เรียกว่า นิวเคลียส (nucleus) ระยะเวลาในการเย็นไฟที่อุณหภูมิ

นี้ (t1) จะเป็นตัวควบคุมจำนวนนิวเคลียสที่เกิดขึ้น ยิ่งยิ่งไฟที่อุณหภูมินี้เท่าไรยิ่งจะมีนิวเคลียสจำนวนมากมากขึ้นไปเท่านั้น อุณหภูมิ T3 เป็นอุณหภูมิที่ทางอุณหพลศาสตร์ถือว่าเป็นอุณหภูมิที่นิวเคลียสซึ่งเกิดขึ้นมากก่อนนี้มีพลังงานเสรีที่เหมาะสมสำหรับเติบโตจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นผลึก ระยะเวลาในการเย็นไฟที่อุณหภูมินี้ (t3) จึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อขนาดของผลึกที่ได้ กล่าวคือยิ่งเย็นไฟที่อุณหภูมินี้มากขึ้นไปเท่าไรจะทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดโตขึ้นไปเท่านั้น ส่วนอุณหภูมิ T2 เป็นอุณหภูมิพิเศษซึ่งเป็นลูกเล่นในการเผาเคลือบผลึกตามประสบการณ์ของไพจิตร (2531) ซึ่งกล่าวว่าถ้ามีการลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิ T1 มาที่อุณหภูมินี้ก่อนที่จะเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอุณหภูมิ T3 แล้วจะทำให้ได้ผลึกที่กลมและโตสมบูรณ์มากกว่าการลดอุณหภูมิโดยตรงจาก T1 ไปที่ T3 เลย

ในบทความเรื่องเคลือบผลึกวิลิโมท์ฉบับแรกของผู้เขียน (สุธรรม, 2554) ได้ทดลองปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ T2, อุณหภูมิ T3 และช่วงเวลายืนไฟ t3 แต่คงอุณหภูมิ T1 = 1,250 °C กับคงอัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิทุกตัว (คือ r1 ถึง r4) ให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลองไว้เท่ากับ 5 °C/นาที่ และกำหนดช่วงเวลายืนไฟ t1 และ t2 ไว้ที่ 5 และ 0 นาทีตามลำดับ แล้วศึกษาผลที่เกิดขึ้น ผลการทดลองสรุปได้ว่า 1) การเผาเคลือบผลึกวิลิโมท์ที่อุณหภูมิ T2 และ T3 เท่ากับ 1,130 และ 1,160 °C ตามลำดับ จะได้เคลือบผลึกที่มีผลึกจำนวนมากว่าการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ T2&T3 เท่ากับ 1,140&1,170 °C และ 1,110&1,170 °C 2) การขยายเวลาในการเย็นไฟที่อุณหภูมิ t3 จาก 3 เป็น 5 ชั่วโมงจะทำให้ผลึกของเคลือบที่ได้มีขนาดโตและสวยงามขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ในบทความเรื่องเคลือบผลึกวิลิโมท์ฉบับที่สองของผู้เขียน (สุธรรมและนางลักษณ์, 2556) ได้ทดลองปรับเปลี่ยนอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ r1 และ

ปรับเปลี่ยนความหนาของเคลือบผลึก แต่คงอุณหภูมิในการเผา T1 T2 และ T3 เป็น 1,290 1,130 และ 1,170 °C ตามลำดับและกำหนดช่วงเวลายืนไฟที่อุณหภูมิทั้งสามเป็น 0 0 และ 300 นาทีตามลำดับ และกำหนดอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ r2 r3 และ r4 เป็น 10 10 และ 3 °C/นาที่ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ว่าเคลือบผลึกซึ่งมีผลึกวิลิโมท์ที่มีขนาดโตและสวยงามที่สุด ได้จากการชุบเคลือบ 3 ครั้ง (ครั้งละ 5 วินาที) แล้วเผาโดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ r1 เท่ากับ 2 °C/นาที่ การชุบเคลือบน้อยครั้งและมากกว่านี้ (เช่น ชุบ 1 2 4 และ 5 ครั้ง) และการเผาเคลือบโดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ r1 เท่ากับ 3 และ 5 °C/นาที่ จะได้เคลือบผลึกที่มีผลึกขนาดเล็กและมีจำนวนผลึกน้อยเกินไปหรือมากเกินไปจนทำให้ได้ผลึกซ้อนทับกันหลาย ๆ ชั้นจนทำให้ได้เคลือบที่มีผิวไม่เรียบจนมีลักษณะเหมือนเคลือบด้านและไม่สวย

บทความฉบับนี้คณะผู้เขียนได้วิจัยเกี่ยวกับเคลือบผลึกวิลิโมท์โดยมีจุดประสงค์สองประการคือ **ประการที่ 1)** ศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนช่วงเวลายืนไฟที่อุณหภูมิ T1 และ T2 (คือ t1 และ t2) แต่กำหนดอุณหภูมิในการเผา T1 T2 และ T3 ช่วงเวลายืนไฟที่อุณหภูมิ T3 อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิทุกตัวคือ r1 ถึง r4 ให้คงที่ **ประการที่ 2)** ศึกษาวิธีทำเคลือบผลึกซ้อนตามแบบของไพจิตร (2537) โดยการเพิ่มและลดอุณหภูมิกลับไปกลับมาในช่วงอุณหภูมิระหว่าง T2 กับ T3 และทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิ T2 กับ T3 การทดลองนี้จะทำให้ทราบผลของเวลาในการเย็นไฟคือ t1 และ t2 และทำให้ทราบวิธีการเผาเคลือบผลึกให้ได้ผลึกซ้อนตามแบบของอาจารย์ไพจิตร (ไพจิตร, 2537) อนึ่งเพื่อให้เห็นผลของการปรับเปลี่ยนปัจจัยข้างต้นต่อเคลือบวิลิโมท์ซึ่งมีออกไซด์ไทเทเนียมและความหนาของเคลือบต่างกันงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยดังกล่าวบนเคลือบซึ่งมีส่วนผสมที่เป็น

ออกไซด์ให้สีต่างกันสามสูตรและทดลองชุบเคลือบโดยใช้จำนวนครั้งในการชุบเคลือบ 1 ถึง 4 ครั้ง

## วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมกระเบื้องทดสอบเคลือบขนาดประมาณ  $5 \times 5 \times 1$  ซม.<sup>3</sup> โดยใช้ดินผสมสำเร็จรูป (เกรด stoneware body 02) จากบริษัทคอมพาวด์เคลย์ จำกัด ขึ้นรูปดินผสมด้วยการนวดและปั้นด้วยมือ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. ใช้สูตรเคลือบผลึกของไพจิตร (2531) ซึ่งมีส่วนผสมหลักของเคลือบเหมือนกันตามตารางที่ 1 แต่ใช้ออกไซด์ให้สีแตกต่างกันดังนี้ เคลือบสูตรที่ 1 ใช้  $\text{MnO}_2$  3% และ  $\text{NiO}$  3% โดยน้ำหนัก เคลือบสูตรที่ 2 ใช้  $\text{CoO}$  1.5% และ  $\text{TiO}_2$  5% โดยน้ำหนัก เคลือบสูตรที่ 3 ใช้  $\text{MnO}_2$  4% และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  4% โดยน้ำหนัก

3. บดผสมผงวัตถุดิบในโถรงเป็นเวลา 20 นาทีโดยใช้น้ำช่วยในการบดผสมในสัดส่วน ผง:น้ำ เป็น 1:1

4. นำกระเบื้องทดสอบเคลือบในข้อ 1) ไปชุบเคลือบในข้อ 2) สูตรละ 4 ชิ้น โดยก่อนชุบเคลือบใช้ฟองน้ำชุบน้ำเช็ดบนผิวหน้าของกระเบื้องทดสอบที่ผ่านการเผาดิบ และปรับเปลี่ยนจำนวนครั้งในการชุบ ดังนี้ ขั้นที่ 1 ชุบน้ำเคลือบ 1 ครั้ง เป็นเวลา 5 วินาที ขั้นที่ 2 ชุบน้ำเคลือบ 2 ครั้ง แต่ละครั้งชุบเป็นเวลา 5 วินาที ขั้นที่ 3 ชุบน้ำเคลือบ 3 ครั้ง แต่ละครั้งชุบเป็นเวลา 5 วินาที ขั้นที่ 4 ชุบน้ำเคลือบ 4 ครั้ง แต่ละครั้งชุบเป็นเวลา 5 วินาที

ตารางที่ 1 ส่วนผสมหลักของเคลือบวิลิไมท์ที่ใช้

| ส่วนผสม*        | เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก % | ส่วนผสม*       | เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก % |
|-----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| Na-feldspar     | 46.50                | ZnO            | 20.41                |
| $\text{CaCO}_3$ | 4.18                 | Kaolinite      | 1.08                 |
| $\text{BaCO}_3$ | 8.25                 | $\text{SiO}_2$ | 19.58                |

\*ที่มา: บริษัท อัมรินทร์เซรามิกส์คอร์ปอเรชั่น จำกัด

5. เผากระเบื้องทดสอบเคลือบที่ชุบเคลือบเสร็จแล้วด้วยรูปแบบการเผา 4 รูปแบบ และตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจหลังเผา ดังนี้

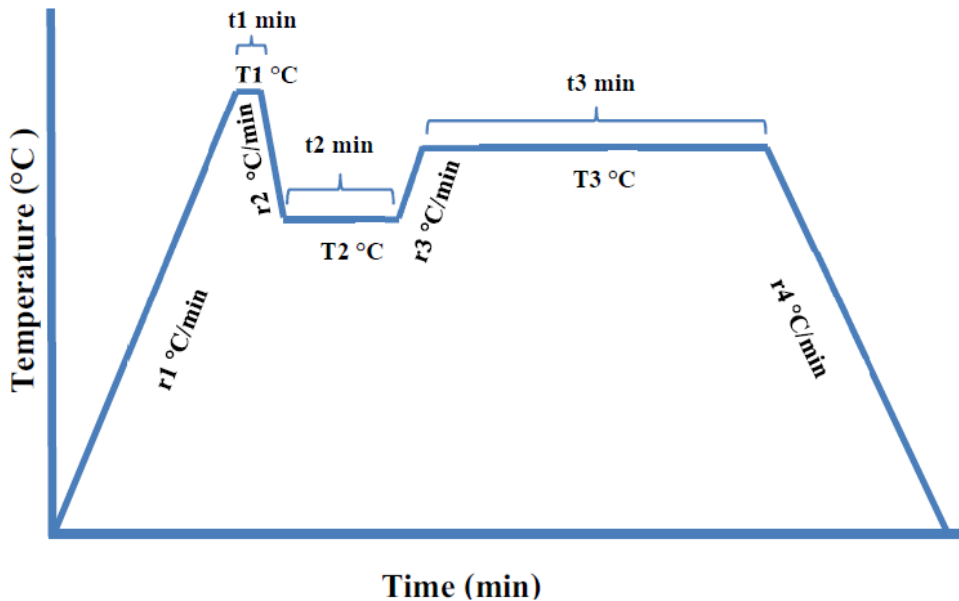
5.1) รูปแบบที่ 1 เผาตามรูปแบบการเผาดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้อุณหภูมิในการเผา T1 T2 และ T3 เป็น 1,290 1,130 และ 1,170 °C ตามลำดับ ใช้อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ r1 r2 r3 และ r4 เป็น 2 10 10 และ 3 °C/นาที ใช้ระยะเวลาในการเย็นไฟ t1 t2 และ t3 เป็น 0 0 และ 300 นาที ตามลำดับ

5.2) รูปแบบที่ 2 เหมือนกับรูปแบบการเผาที่ 1 ทั้งหมด ยกเว้นระยะเวลาในการเย็นไฟ t1 และ t2 เป็น 10 และ 30 นาที ตามลำดับ

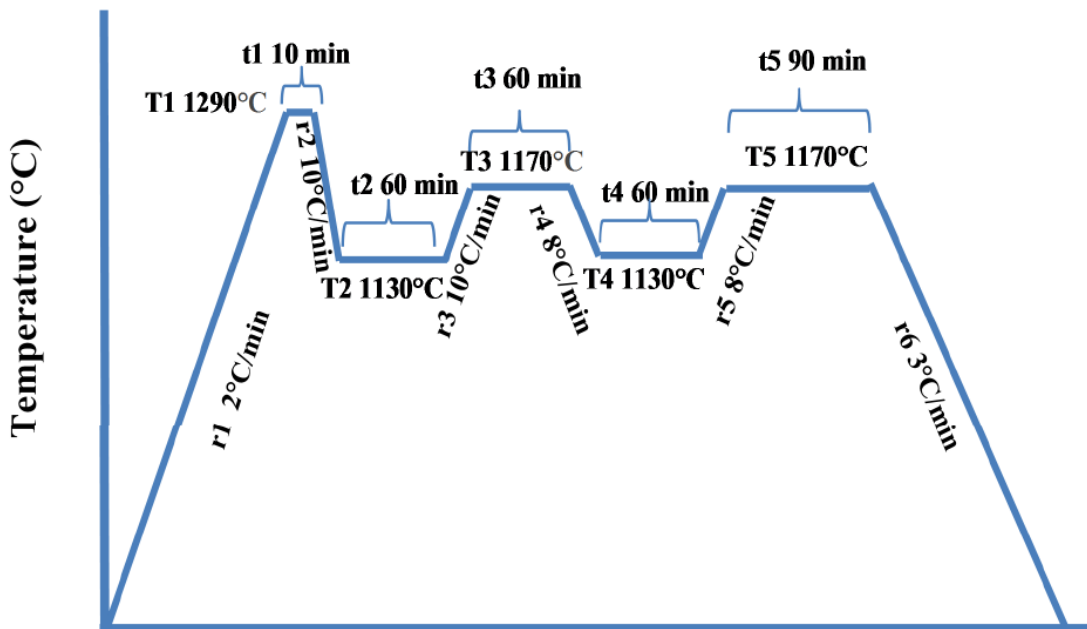
5.3) รูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบการเผาเพื่อให้ผลึกเป็นดอกซ้อนกันสองชั้นตามวิธีการของไพจิตร (2537) โดยปรับปรุงรูปแบบการเผาครั้งที่สองให้มีการเพิ่มและลดอุณหภูมิระหว่าง 1,130 กับ 1,170 °C สองครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2

5.4) รูปแบบที่ 4 เหมือนรูปแบบการเผาที่ 3 ทั้งหมดแต่เปลี่ยนอุณหภูมิ T2 และ T4 ในรูปที่ 2 จาก 1,130 เป็น 1,050 °C และเปลี่ยนอุณหภูมิ T3 และ T5 ในรูปที่ 2 จาก 1,170 เป็น 1,080 °C

6. เพื่อให้เห็นตัวอย่างการนำเคลือบผลึกที่ได้ไปใช้งานจริงจึงทดลองนำน้ำเคลือบสูตรที่ 1 ไปเคลือบบนแจกันที่ผ่านการเผาดิบ ชุบเคลือบ 3 ครั้ง แล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 3



รูปที่ 1 รูปแบบการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์แบบมาตรฐานประกอบด้วยอุณหภูมิ 3 ค่าคือ  $T_1$   $T_2$  และ  $T_3$  °C; ช่วงเวลาในการยืนไฟที่อุณหภูมิทั้งสาม 3 ช่วงคือ  $t_1$   $t_2$  และ  $t_3$  นาที; อัตราเร็วในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ 4 อัตราคือ  $r_1$   $r_2$   $r_3$  และ  $r_4$  °C/นาที



รูปที่ 2 รูปแบบการเผาครั้งที่ 3 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นดอกซ้อนกันสองชั้นโดยปรับปรุงรูปแบบการเผาให้มีการเพิ่มและลดอุณหภูมิระหว่าง 1130 กับ 1170 °C

## ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

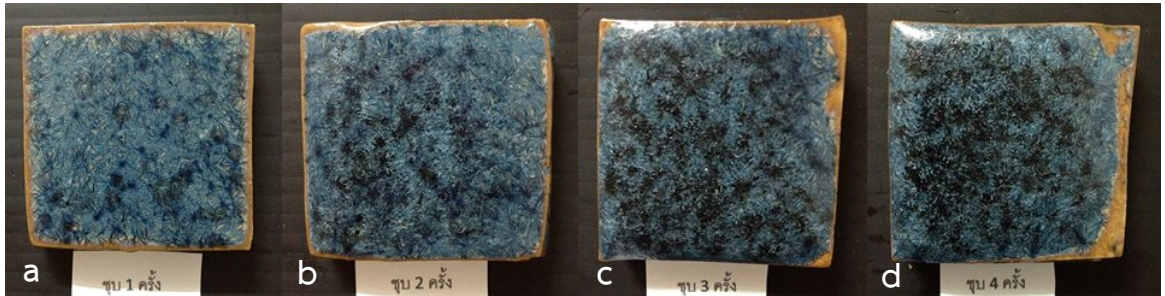
รูปที่ 3-4 แสดงขึ้นงานสูตรที่ 1 ที่ชุบเคลือบ 1-4 ครั้ง เปรียบเทียบรูปแบบการเผาที่ 1 และ 2 จากรูปที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่าการเผาด้วยรูปแบบที่ 2 ให้เคลือบที่มีผลึกขนาดใหญ่และสวยงามกว่าการเผาด้วยรูปแบบที่ 1 ทั้งนี้แสดงว่าการเย็นไฟที่อุณหภูมิ T1 ที่ 1290 °C และ T2 ที่ 1130 °C เป็นเวลา  $t_1$  ที่ 10 นาที และ  $t_2$  ที่ 30 นาทีมีผลทำให้ได้เคลือบสวยงามขึ้น อย่างไรก็ตามการเย็นไฟที่อุณหภูมิ T1 ไม่น่าจะมีผลทำให้เคลือบมีผลึกขนาดใหญ่และสวยงามเพราะว่าอุณหภูมิ T1 เป็นอุณหภูมิที่ผลึกเริ่มงอกเท่านั้น ถ้าเป็นเช่นนั้นแสดงว่าการเย็นไฟที่อุณหภูมิ T2 เป็นเวลา  $t_2$  นาน 30 นาที มีส่วนที่ทำให้ได้ผลึกที่มีดอกขนาดใหญ่และสวยงามขึ้นมาก ที่เป็นเช่นนั้นอาจจะเป็นเพราะว่าผลึกที่งอกขึ้นมาก่อนนี้ (ที่อุณหภูมิ T1) เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 1130 °C ได้มากกว่าที่ 1170 °C

รูปที่ 5 แสดงขึ้นงานสูตรที่ 1 ที่ชุบเคลือบ 1-4 ครั้ง เปรียบเทียบรูปแบบที่ 3 ซึ่งมีการเพิ่มและลดอุณหภูมิระหว่าง 1130 กับ 1170 °C กลับไปกลับมาสองครั้งเพื่อจะได้ผลึกที่เป็นดอกซ้อนกันสองชั้น จะเห็นได้ชัดว่าขึ้นงานมีผลึกที่เป็นดอกซ้อนกันสองชั้นตรงตามที่อาจารย์ไพจิตรกล่าวไว้ (ไพจิตร, 2537) อาจจะอธิบายเรื่องนี้โดยอุณหพลศาสตร์ว่าที่อุณหภูมิ 1130 กับ 1170 °C อะตอมของสารประกอบในเคลือบมีพลังงานเสรีไม่เท่ากันดังนั้นอะตอมจึงเคลื่อนที่ไปรวมกับนิวเคลียสซึ่งเกิดขึ้นมาแล้วก่อนหน้านี้ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน เป็นเหตุให้ที่อุณหภูมิ 1130 กับ 1170 °C ผลึกโตขึ้นด้วยความเร็วไม่เท่ากันจึงส่งผลให้เห็นเป็นสองชั้นที่แต่ละชั้นมีสีและลายต่างกันเพราะผลึกโตขึ้นด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน เปรียบได้กับการเจริญเติบโตของลำต้นของต้นไม้ยืนต้นซึ่งเจริญเติบโตในฤดูฝนกับฤดูแล้งไม่เท่ากันจึงเห็นลำต้นของต้นไม้เป็นวงปีย่างชัดเจน

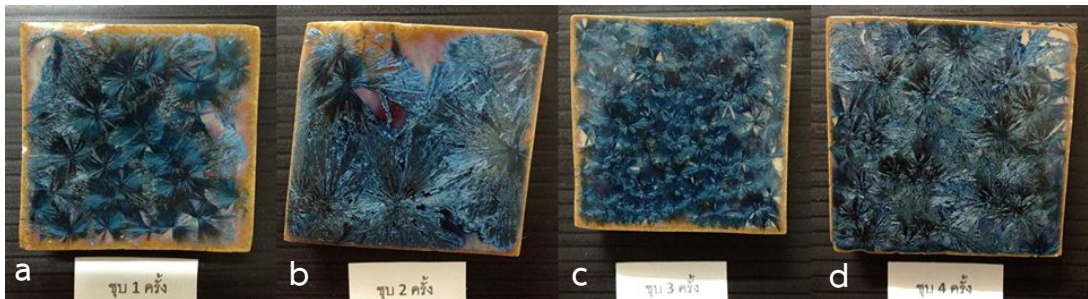
รูปที่ 6 แสดงขึ้นงานสูตรที่ 1 ที่ชุบเคลือบ 1-4 ครั้งซึ่งเผาด้วยรูปแบบที่ 4 ซึ่งเหมือนกับรูปแบบที่ 3 ทั้งหมดยกเว้นแต่เปลี่ยนอุณหภูมิ T2 และ T4 จาก 1130 เป็น 1050 °C และเปลี่ยนอุณหภูมิ T3 และ T5 จาก 1170 เป็น 1080 °C จะเห็นว่าได้ถึงแม้ว่ามีลักษณะคล้าย ๆ กับเกิดผลึกซ้อนสองชั้นเหมือนการเผาด้วยรูปแบบที่ 3 แต่ดอกผลึกมีขนาดเล็กไม่คมชัดสวยงามและพื้นสีน้ำตาลด้านหลังผลึกก็ไม่เรียบเมื่อเทียบกับการเผาแบบที่ 3 ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าการลดอุณหภูมิลงมาทำให้อะตอมในส่วนประกอบเคลือบมีพลังงานเสรีน้อยลงจนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับนิวเคลียสซึ่งเกิดก่อนหน้านี้ทำให้ผลึกที่เผาด้วยรูปแบบที่ 4 โตช้ากว่าผลึกที่ได้จากเผาด้วยรูปแบบ 3

เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 3a ถึง 3d จะเห็นได้ว่าการชุบเคลือบมากครั้งขึ้นทำให้ได้เคลือบผลึกที่มีผลึกขนาดเล็กแออัดกันมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการชุบเคลือบมากครั้งยิ่งขึ้นจะทำให้มีเนื้อเคลือบติดบนผิวกระเบื้องมากยิ่งขึ้นเมื่อนำไปเผาจึงทำให้เกิดผลึกออกจนวนมากยิ่งขึ้น

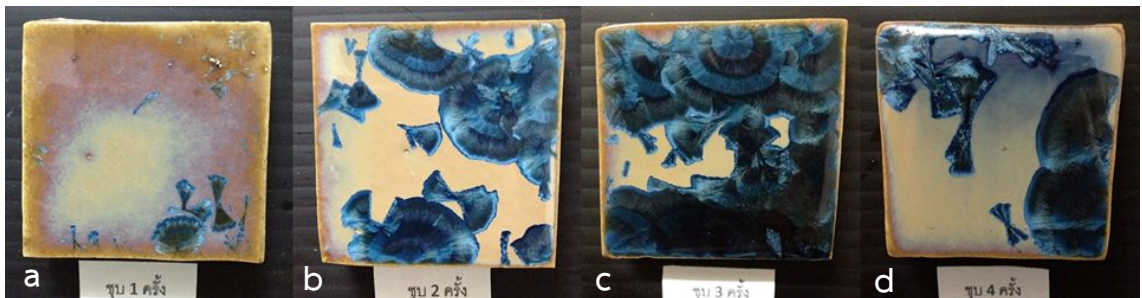
เมื่อเปรียบเทียบภาพ 5a ถึง 5c จะเห็นได้ว่าการชุบเคลือบ 1 ครั้งได้เคลือบที่มีดอกผลึกจำนวนน้อยและการชุบเคลือบ 3 ครั้งได้เคลือบที่มีดอกผลึกมากที่สุด ที่เป็นเช่นนั้นอาจจะเป็นเพราะว่าการชุบเคลือบมากครั้งยิ่งขึ้นจะทำให้ได้เนื้อเคลือบหนากว่าติดบนผิวกระเบื้อง เมื่อนำกระเบื้องไปเผาจึงมีอะตอมของสารประกอบของเคลือบในน้ำเคลือบมากกว่า เมื่อยืนไฟที่อุณหภูมิที่เหมาะสมอะตอมเหล่านั้นจึงสามารถเคลื่อนที่มารวมกันเป็นดอกผลึกมากกว่า จึงได้เคลือบที่มีดอกผลึกมากกว่า และดอกผลึกที่ได้ก็มีขนาดใหญ่และสมบูรณ์มากกว่าดังแสดงในภาพที่ 5a ถึง 5c อนึ่งยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าเหตุใดกระเบื้องที่ได้จากการชุบเคลือบ 4 ครั้งในภาพ 5d จึงมีจำนวนดอกผลึกน้อยกว่าภาพที่ 5a ถึง 5c



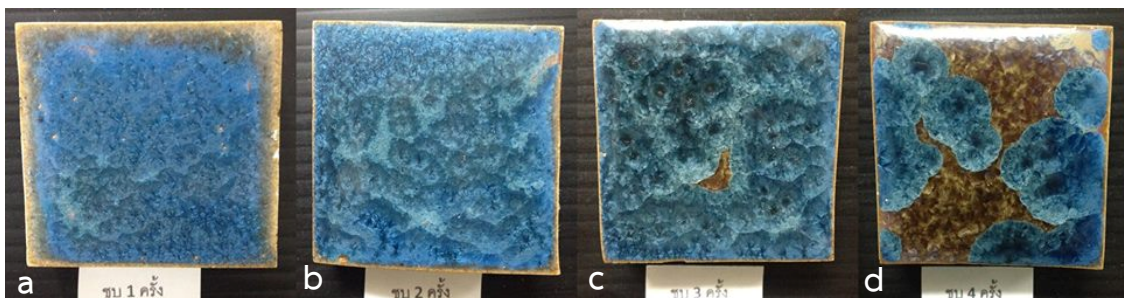
รูปที่ 3 เคลือบสูตรที่ 1 ซูปเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากซูปเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 1



รูปที่ 4 เคลือบสูตรที่ 1 ซูปเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากซูปเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 2



รูปที่ 5 เคลือบสูตรที่ 1 ซูปเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากซูปเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 3



รูปที่ 6 เคลือบสูตรที่ 1 ซูปเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากซูปเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 4

รูปที่ 7-10 แสดงชิ้นงานสูตรที่ 2 ที่ชุบเคลือบ 1-4 ครั้งซึ่งเผาด้วยรูปแบบที่ 1-4 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ผลึกที่ได้จากสูตรที่ 2 มีสีและรูปร่างต่างจากผลึกที่ได้จาก สูตรที่ 1 (ในรูปที่ 3-6) ซึ่งเผาด้วยรูปแบบเดียวกัน แสดง ว่าออกไซด์ให้สีไม่ได้มีแค่เพียงทำให้ได้ผลึกที่มีสีต่างกัน เท่านั้น แต่ออกไซด์ให้สียังมีอิทธิพลต่อรูปร่างของผลึกที่ ได้เมื่อเผาด้วยรูปแบบหนึ่ง ๆ ด้วย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 7 กับ 8 จะเห็น ได้ว่าเคลือบสูตรที่ 2 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบที่ 2 จะได้ผลึกที่มี รูปลักษณะต่างจากที่เผาด้วยรูปแบบที่ 1 มาก โดยเคลือบที่ เผาด้วยรูปแบบที่ 1 ดอกผลึกที่ได้มีขนาดเล็กมากกว่า การเผาด้วยรูปแบบที่ 1 จะได้ดอกผลึกที่มีแต่การเกิด เป็นนิวเคลียสและเมื่อเกิดแล้วนิวเคลียสมีการเติบโตต่อไป น้อยมาก แสดงว่าการเย็นไฟที่อุณหภูมิ T1 นาน 10 นาที และ T2 นาน 30 นาที มีส่วนช่วยทำให้ได้ผลึกที่มีดอก ขนาดใหญ่และสวยงามยิ่งขึ้นมาก ทั้งนี้อาจจะวิเคราะห์ สาเหตุได้เหมือนกับที่กล่าวไว้สำหรับเคลือบสูตรที่ 1 เพราะปรากฏการณ์ในข้อนี้มีลักษณะเหมือนกันกับที่เกิด กับเคลือบสูตรที่ 1

รูปที่ 9 แสดงชิ้นงานสูตรที่ 2 ซึ่งเผาด้วย รูปแบบที่ 3 จะเห็นว่าผลึกที่ได้จากการเผามีลักษณะ เชื่อมต่อกันเป็นวงกลมเหมือนกับพัดคลี่มากกว่าผลึกที่ได้ จากการเผาด้วยรูปแบบที่ 2 (รูปที่ 8) ซึ่งมีลักษณะเหมือน เป็นเส้นที่ลากออกไปในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางของ นิวเคลียสเท่านั้น สังเกตว่าผลึกที่ได้จากการเผาด้วย รูปแบบนี้มีไม่มีลักษณะเป็นดอกซ้อนเหมือนผลึกของ เคลือบสูตรที่ 1 (รูปที่ 5) ซึ่งเผาด้วยรูปแบบเดียวกัน

รูปที่ 10 แสดงชิ้นงานสูตรที่ 2 ซึ่งเผาด้วย รูปแบบที่ 4 จะเห็นว่าได้ผลึกที่มีลักษณะเป็นดอกซ้อนกัน สองชั้นชัดเจนสวยงามกว่าชิ้นงานซึ่งเผาด้วยรูปแบบที่ 3 แสดงว่าอุณหภูมิการเผาด้วยรูปแบบที่ 4 เหมาะกับการ เกิดผลึกวิไลไมท์ของเคลือบสูตรที่ 2 มากกว่าอุณหภูมิ การเผาด้วยรูปแบบที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 7a ถึง 7d จะเห็นได้ ว่าการชุบเคลือบสูตรที่ 2 มากครั้งขึ้นทำให้ได้เคลือบ ผลึกที่มีขนาดเล็กแออัดยิ่งขึ้น ทำนองเดียวกันกับการ ชุบเคลือบสูตรที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3a ถึง 3d

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าการชุบเคลือบจำนวน 2-4 ครั้งไม่ได้ทำให้ได้ผลึกของเคลือบมีลักษณะต่างกันมากนัก แต่จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าการชุบเคลือบ 3-4 ครั้งทำให้ ได้ผลึกแตกต่างจากการชุบเคลือบ 2 ครั้งมากกล่าวคือการ ชุบเคลือบ 3-4 ครั้งจึงจะได้ดอกผลึกที่สวยงาม ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะว่าการชุบเคลือบน้อยครั้ง (1-2 ครั้ง) ทำ ให้ได้ชั้นเคลือบที่บางเกินไปจึงไม่มีอะตอมของเคลือบมาก พอที่จะเคลื่อนที่มารวมกันเป็นดอกผลึกสวยงามได้

รูปที่ 11-14 แสดงเคลือบสูตรที่ 3 ที่ชุบเคลือบ 1-4 ครั้งซึ่งเผาด้วยรูปแบบที่ 1-4 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ออกไซด์ให้สีของเคลือบสูตรที่ 3 ทำให้ได้ผลึกที่มีสีน้ำตาล ทองสวยงามมาก

จากรูปที่ 11 จะเห็นได้ผลึกของเคลือบสูตรที่ 3 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบที่ 1 เป็นผลึกขนาดเล็กและยังชุบ เคลือบหลายชั้นมากขึ้นไปเท่าใดจะทำให้ได้ผลึกขนาดเล็ก มากขึ้นไปเท่านั้น ทั้งนี้เป็นทำนองเดียวกันกับเคลือบสูตร ที่ 1 และ 2 ที่กล่าวถึงแล้ว

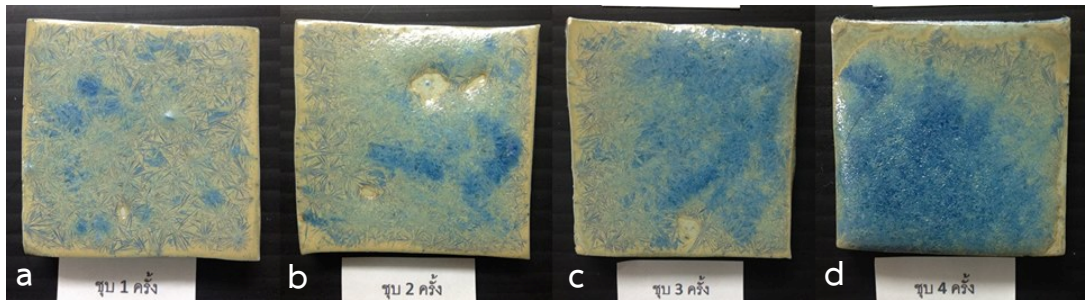
จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าเคลือบสูตรที่ 3 ซึ่งเผา ด้วยรูปแบบที่ 2 มีผลึกที่มีดอกขนาดโตขึ้นเหมือนกับมี เส้นงอกออกไปตามแนวรัศมีทำนองเดียวกันกับเคลือบ สูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบเดียวกัน

รูปที่ 13 แสดงเคลือบสูตรที่ 3 ซึ่งเผาด้วย รูปแบบที่ 3 จะเห็นได้ว่าผลึกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โตขึ้นและสวยงามกว่าผลึกที่ได้จากการเผาด้วยรูปแบบที่ 2 อย่างไรก็ตามผลึกที่ได้ไม่เป็นดอกผลึกซ้อนเหมือนกับ ผลึกของเคลือบสูตรที่ 1 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบเดียวกัน

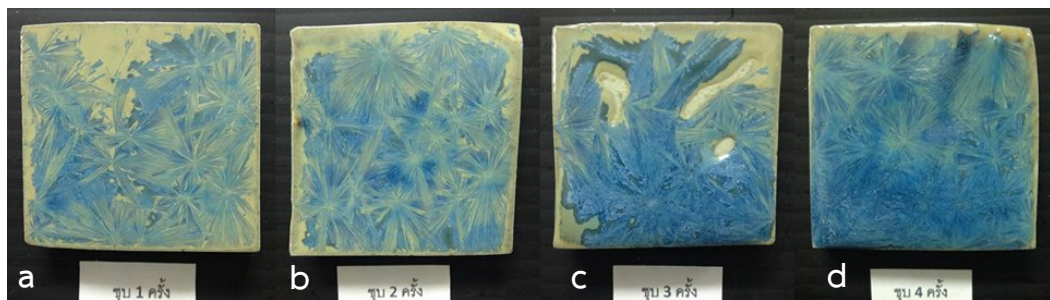
รูปที่ 14 แสดงเคลือบสูตร 3 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบ การเผาที่ 4 ซึ่งลดอุณหภูมิการเลี้ยงผลึกลงไปที่จาก 1130 และ 1170 °C ให้เหลือเพียง 1050 และ 1080 °C จะเห็น

ว่าผลึกไม่ได้งอกออกไปเลยจึงเห็นแต่สีพื้นซึ่งเป็นสีดำ แสดงว่ารูปแบบการเผาที่มีอุณหภูมิที่อาจจะต่ำเกินไปทำให้ส่วนประกอบของเคลือบมีพลังงานเสริมไม่พอที่จะเคลื่อนที่ไปรวมกันเป็นดอกผลึกที่โตออกไปได้

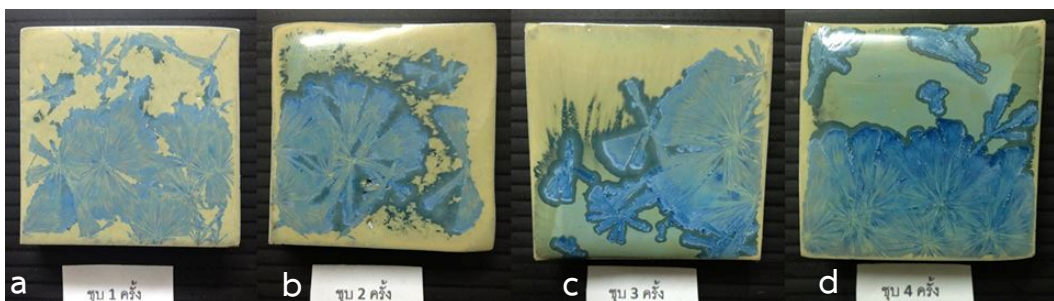
รูปที่ 15 แสดงแจกันที่เคลือบด้วยเคลือบสูตรที่ 1 ขุบเคลือบ 3 ครั้ง แล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่และรูปลักษณะที่สวยงามเป็นดอกซ้อน สอดคล้องกับผลการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้



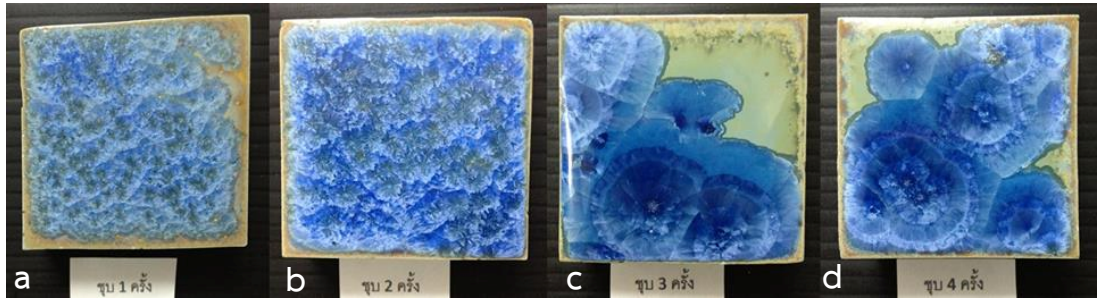
รูปที่ 7 เคลือบสูตรที่ 2 ขุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากขุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 1



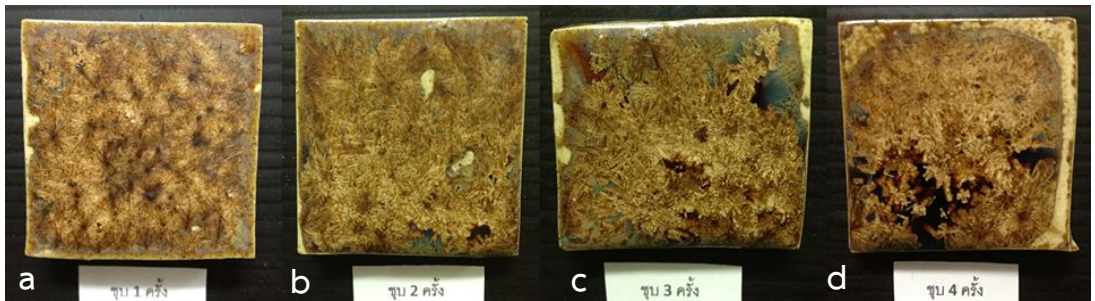
รูปที่ 8 เคลือบสูตรที่ 2 ขุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากขุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 2



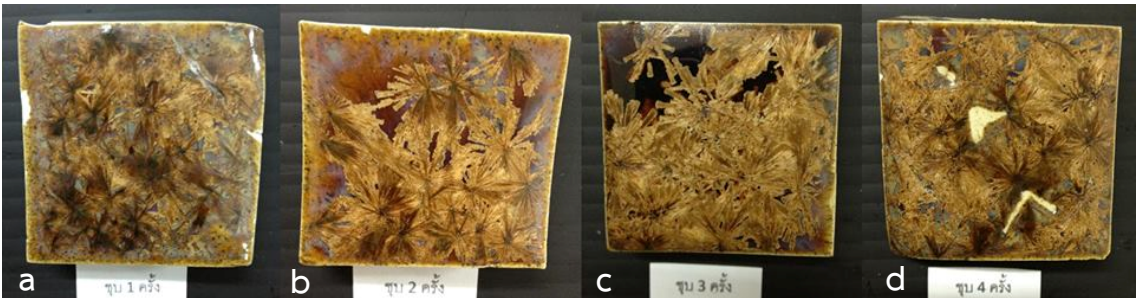
รูปที่ 9 เคลือบสูตรที่ 2 ขุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากขุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 3



รูปที่ 10 เคลือบสูตรที่ 2 ซุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครั่งละ 5 วินาที หลังจากซุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 4



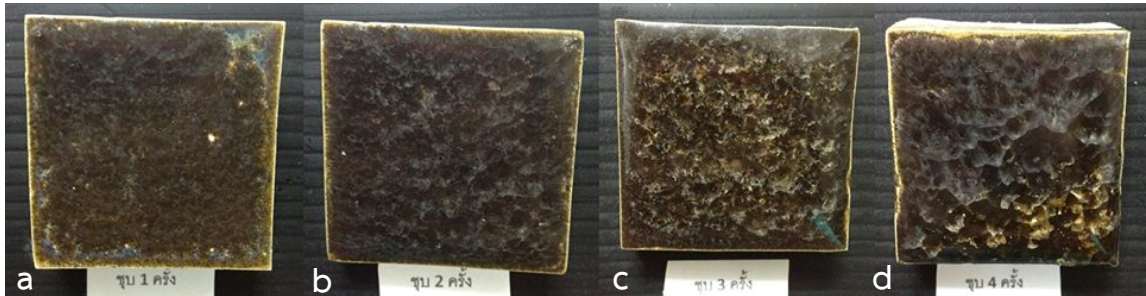
รูปที่ 11 เคลือบสูตรที่ 3 ซุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครั่งละ 5 วินาที หลังจากซุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 1



รูปที่ 12 เคลือบสูตรที่ 3 ซุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครั่งละ 5 วินาที หลังจากซุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 2



รูปที่ 13 เคลือบสูตรที่ 3 ซุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครั่งละ 5 วินาที หลังจากซุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 3



รูปที่ 14 เคลือบสูตรที่ 3 ซุบเคลือบ (a) 1 ครั้ง (b) 2 ครั้ง (c) 3 ครั้ง และ (d) 4 ครั้ง ครึ่งละ 5 วินาที หลังจากซุบเคลือบแล้วเผาด้วยรูปแบบที่ 4



รูปที่ 15 ชิ้นงานเคลือบด้วยเคลือบสูตรที่ 1 ซุบเคลือบ 3 ครั้ง เผาด้วยรูปแบบที่ 3

### สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า (1) การยีนไฟที่อุณหภูมิ T1 ที่ 1290 °C และ T2 ที่ 1130 °C เป็นเวลา 10 และ 30 นาที ตามลำดับ จะได้เคลือบที่มีดอก

ผลึกโตขึ้น และขยายออกไปในแนวรัศมียาวขึ้น; (2) การเพิ่มและลดอุณหภูมิไปมาระหว่าง T2 และ T3 ที่ 1170 °C มีผลช่วยทำให้ได้เคลือบที่ใช้  $\text{MnO}_2$  3% กับ  $\text{NiO}$  3% โดยน้ำหนัก (สูตร 1) และ  $\text{CoO}$  1.5% กับ

TiO<sub>2</sub> 5% โดยน้ำหนัก (สูตร 2) มีผลึกเป็นดอกซ้อนสองชั้นสวยงามมาก แต่ก็ไม่มีผลทำให้เคลือบสูตรที่ใช้ MnO<sub>2</sub> 4% และ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4% โดยน้ำหนัก (สูตร 3) มีผลึกเป็นดอกซ้อนกันสองชั้น; (3) ออกไซด์ให้สีไม่ได้มีผลต่อสีของเคลือบแต่เพียงอย่างเดียวแต่กลับจะมีต่อลักษณะของผลึกที่ได้ด้วย; (4) ความหนาของการชุบเคลือบมีผลต่อลักษณะของเคลือบผลึกที่ได้แตกต่างกัน ขึ้นกับว่าส่วนผสมและรูปแบบการเผา เช่น สำหรับเคลือบสูตร 1 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบ 3 ซึ่งชุบ 2-4 ครั้ง และเคลือบสูตร 2 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบ 4 ที่ชุบเคลือบ 3-4 ครั้ง จะได้เคลือบที่มีผลึกที่มีดอกผลึกขนาดใหญ่สวยงาม แต่สำหรับเคลือบสูตร 1 และ สูตร 2 ซึ่งเผาด้วยรูปแบบ 1 การชุบเคลือบ 3-4 ครั้งกลับทำให้ได้เคลือบที่มีขนาดเล็กแออัดกันจนทึบและไม่สวย ลักษณะแบบนี้ทางสถิติศาสตร์ถือว่า จำนวนครั้งของการชุบเคลือบ หรือความหนาของเคลือบมีอิทธิพลกับรูปแบบการเผาเคลือบ; (5) โดยภาพรวมแล้ว ตัวแปรที่ทำให้ได้เคลือบผลึกที่สวยงามที่สุดของการทดลองนี้คือเผา

## เอกสารอ้างอิง

- คชินท์ สายอินทวงศ์. (2552). เคลือบผลึก. วารสารเซรามิกส์. ม.ค.-มี.ค.: 15-18.
- คชินท์ สายอินทวงศ์. (2551). เคลือบผลึก. สมาคมเซรามิกส์ไทย แหล่งข้อมูล [http://www.thaiceramicsociety.com/pd\\_art\\_crystalglaze.php](http://www.thaiceramicsociety.com/pd_art_crystalglaze.php) ค้นเมื่อ วันที่ 20 เม.ย. 2553
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547). “เซรามิกส์,” หน้า 155-156 พิมพ์ครั้งที่ 5 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2531). เคลือบผลึก. วารสารเซรามิกส์. เม.ย.: 10-12.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2537). “รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์” สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ภาวิณี ทองใบ-เลียรี่. (2546). เคลือบผลึก. วารสารเซรามิกส์. ก.ย.-ธ.ค.: 45-47.
- ศุภกา ปาลเปรม. เคลือบผลึก. ศูนย์นวัตกรรมการออกแบบ. แหล่งข้อมูล: [http://designinnovathai.com/\\_file/files/Crystalline%20Glazes.pdf](http://designinnovathai.com/_file/files/Crystalline%20Glazes.pdf) ค้นเมื่อ วันที่ 20 มกราคม 2557.
- สุธรรม ศรีหล่มสัก. (2554). เคลือบผลึกวิลลิไมท์(Willemite Crystal Glaze). วารสารเซรามิกส์. (35). ม.ค.-เม.ย.: 82-89.
- สุธรรม ศรีหล่มสัก และนางลักษณ์ มีทอง. (2556). ผลของ heating rate และความหนาของการชุบต่อเคลือบผลึก วิลลิไมท์. วารสารเซรามิกส์. (40). ม.ค.-เม.ย.: 16-24.
- Dakhai, S., Orlova L. A., and Mikhailenko. N. Yu. (1999). Types and Compositions of Crystalline Glazes. Glass and Ceramics 56(5-6): 177-180.
- Norton, F.H. (1937). The Control of Crystalline Glazes. Journal of the American Ceramic Society 20: 217-224.
- Riddle, F.H. (1906). A Few Facts Concerning the So-called Zinc Silicate Crystals. Trans AmCeramSoc. 8: 336-352.

